

あやとりの形象変化に伴う脳内活動について

—近赤外分光法の結果から—

野田 さとみ

Brain activity during Changes in Shape of String Figure : A Near-Infrared Spectroscopy Study

Satomi NODA

1. 諸言

あやとりは糸・紐の操作で様々な形象を作りだす。その種類は日本に伝承されているものだけでも200種以上、国際あやとり協会のデータでは世界で3000種程度あるとされている（シシド, 2008）。糸を指で引っ掛ける、はずす、ねじるなどの動きを巧みに組み合わせていくことで、両手の間に糸による立体図形が生み出される。その形象からはイメージが引き出され、具体的もしくは抽象的な名称がつけられる。反対に、名称を知ることによって糸で出来上がった形についてのイメージを膨らませることもできる。ひとつの形を完成させるまでには、何段階もの過程を経るのだが、その過程で出来上がる一つ一つの形にも個別のイメージが付加されるものがある。このように、あやとりは糸で作る立体図形を変化させる遊びであるということが出来る。

手指を使った活動と図形の認知に関しては、認知心理学的な基礎研究はもちろん、それらの臨床や教育への応用を目的とした研究がなされている。非侵襲の脳内イメージング法としてfMRI（機能的核磁気共鳴断層撮影装置：functional magnetic resonance imaging）を用いた積み木を使った遅延見本あわせ課題遂行時の視空間情報処理における脳内活動を見た研究では、課題遂行時に頭頂前頭回路の賦活が認められ、立体図形の認知そのものに運動的な要素が関与していることが示されている（宮本ら, 2004）。fMRIは脳の局所血流量と血中ヘモグロビンの量に着目してMR信号の変換から脳の神経活動の変化を推定しようとするものであるが、近赤外光を利用して脳のヘモグロビン濃度を測定しそれを利用して血流量を測定する方法にNIRS（近赤外分光法：near infrared spectroscopy）がある。NIRSは計測時に比較的体拘束性が低く自然な姿勢における計測が可能となるため、fMRIに比較して動作を伴う活動などにも広範囲に利用可能とされている。NIRSにより書字と図形描画作業に注目した研究では、書写と図形描画による前頭前野の賦活が報告されている（森川ら, 2007）。図形教育の科学的意義を明らかにすることを目的とし、立体図形の創造に関する空間認識の過程をNIRSによって明らかにしようとする研究もなされている（黒田, 2003）。

あやとり遊びについては、これまで脳波（electroencephalogram：EEG）を指標として単純な手指の運動との比較や他の手指を使った遊びとの比較検討がされ、あやとりは精神作業的な性質よりも運動性の高い活動であることが示された（野田, 2008）。また、単純な繰り返しの

内容のものよりも複雑な展開を伴う内容で前頭部の活動性が持続することが報告された(野田, 2009)。そこで本研究では、あやとりの課題内容、特に形象変化に注目し、NIRSを指標として前頭部・中心部の活動性の変化を検証することを試みた。糸を操作し形を変化させながら最後にある形を作る、常に変形させながらどこまでも作っていく遊びといったパターンの異なる2つの課題について、1人で行なうパターンに加え、形象を変化させていく動作を2人で行なった場合について、あやとりの形象の変化と認知過程との関連を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

健康な女性4名(19-30歳)が実験に参加した。

(2) 課題内容

1) 反復課題

あやとり課題として「ほうき」を設定した。選択した理由は、予備調査で約8割が「行なった経験がある」と回答していたこと、両手の親指と小指に糸をかけた「構え」から始まり、完成までの手順が5段階と少ない(夏堀, 1987)ことから選択した。

2) 連続課題

連続して形象を変化させる課題として「1人あやとり」を設定した。これは「尻取り綾」とも呼ばれ、2人あやとりで見られる「かわ」「あみ」「うまのめ」「つづみ」「ふね」の5つの形を、1人で連続して作っていく遊びである(夏堀, 1987)。これも「構え」の基本形から始まり、次の形への手順は3から5段階と長くはないこと、作られる形は2人あやとりとしてなじみが深く理解しやすいことから選択した。

3) 2人課題

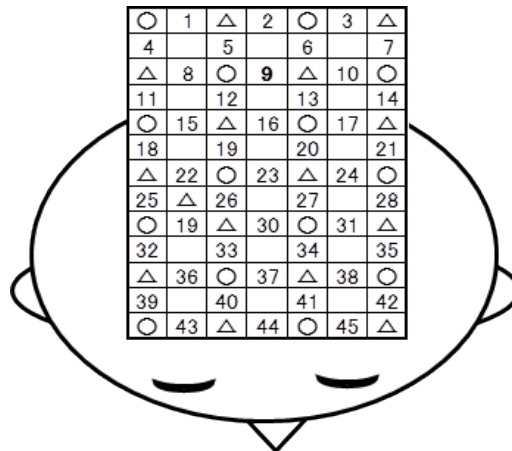
実験者と「2人あやとり」を行なった。これは、1人がまず糸で形を作り、それをもう1人が指で引っ掛けるなどをしながら、別の形を作ることを繰り返し、形を提示できなくなった時点で負けつまり終了となる遊びである。検討1における「1人あやとり」で示したような、いくつかの基本的な形はあるが、特に手順の決まりはない。そのため、どのように取るかの選択は自由にする事とした。また、実験者がすべて補助者を務めた。

(3) 測定項目

脳機能計測として、近赤外光イメージング装置(島津製作所製FOIRE-3000)を用いた。プローブ及びチャンネル配置を図1に示す。測定部位は、国際10-20法に基づいて頭部基準点を計測し、4×7にプローブを配置したFLASHホルダを用いて、45チャンネルより脳血流量の相対的な増大を反映するとされるオキシヘモグロビン濃度(Oxy-Hb)、デオキシヘモグロビン濃度(Deoxy-Hb)、総ヘモグロビン濃度(Total-Hb)の変化量を取得した。プローブ装着位置はCzをチャンネル9となるよう配置した。

(4) 実験の手順

実験は、課題前安静(30秒) - 課題(60秒) - 課題後安静(30秒)のブロックデザインにて



○：照射プローブ，△：検出プローブ，数字：チャンネル番号

Cz をチャンネル 9 に配置

図1 プローブおよびチャンネル配置

実施した。安静期間にはパソコン画面に注視点 (+) を示し、注目しながらあやとりの「構え」の姿勢を保つよう指示をした。また、課題期間は画面に課題遂行の指示を提示した。課題は1課題につき3回繰り返した。なお、課題による順序効果を取り除くため、試行の順序は被験者ごとにランダムに行なった。実験手順は表1に示す。

表1 実験手順

	課題前安静	課題1	安静	課題2	安静	課題3	課題後安静
	測定	測定	測定	測定	測定	測定	測定
	30秒	60秒	60秒	60秒	60秒	60秒	30秒

3. 結果

血流量の変化を見るための指標としてOxy-Hbの変化量を分析データとした。各課題の1回目から3回目のOxy-Hbの変化量を加算平均し、被験者4名の平均を算出した。それぞれの課題について血流量の変化の傾向を検討するために、反復課題と連続課題、2人課題と反復課題、2人課題と連続課題それぞれを比較しチャンネルごとにt検定を行なった。

(1) 反復課題と連続課題の比較

反復課題と連続課題についてOxy-Hb量の差を検討した。チャンネル39、42-45において、反復課題よりも連続課題でOxy-Hb量の有意な増加が見られた。連続課題より反復課題でOxy-Hb量の有意な増加が見られたのはチャンネル30-31、38であった(表2)。tの絶対値が12以上と差が顕著に示したチャンネル39、42、43、44、45におけるOxy-Hbの時系列変化グラフを図2に示す。以上の結果から、反復課題に比較して連続課題で、前頭前野の両側に位置するチャンネルでOxy-Hb量が有意に増加していることが認められた。

表2 2人課題-反復課題における t 値 (n=4)

チャンネル	t値	チャンネル	t値
ch-39	t= 21.94	ch-30	t= -5.06
ch-42	t= 12.51	ch-31	t= -5.85
ch-43	t= 18.86	ch-38	t= -11.66
ch-44	t= 16.99		
ch-45	t= 18.13		

$p < 0.001$

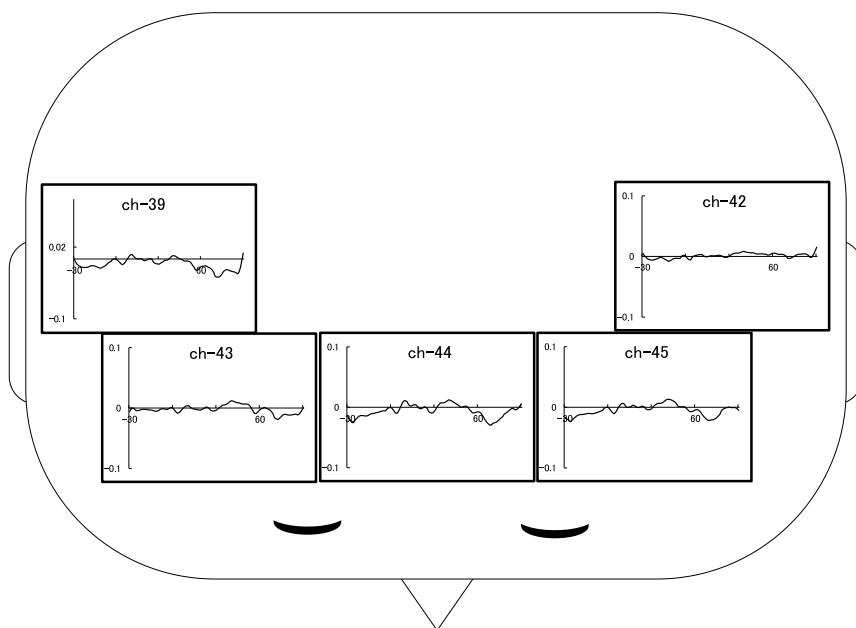


図2 顕著な差が示されたチャンネルにおける
2人課題-反復課題のOxy-Hb量の時系列変化グラフ (n=4)

(2) 2人あやとりとの比較

2人課題と反復課題についてOxy-Hb量の差を検討した。チャンネル10、32、36、39、41-45において、反復課題よりも2人課題でOxy-Hb量の有意な増加が見られた。2人課題よりも反復課題においてOxy-Hb量の有意な増加が見られたのはチャンネル1、4、5、25、27-28、31、34-35、38であった(表3)。また、tの絶対値が12以上と差が顕著に示されたチャンネル31、35、39、41、44、45におけるOxy-Hbの時系列変化グラフを図3に示す。

また、2人課題と連続課題の差についても検討した。チャンネル39、43-44において、2人課題よりも連続課題においてOxy-Hb量の有意な増加が見られた。2人課題よりも連続課題においてOxy-Hb量の有意な増加がみられたのはチャンネル1、4、10、21、24、27-28、31、35、38、42であった(表4)。しかしt値の絶対値はいずれも12以下であった。

表3 2人課題-反復課題におけるt値(n=4)

チャンネル	t値	チャンネル	t値
ch-10	t= 4.76	ch- 1	t= -5.16
ch-32	t= 11.00	ch- 4	t= -5.28
ch-36	t= 8.88	ch- 5	t= -5.50
ch-39	t= 50.16	ch-25	t= -4.83
ch-41	t= 32.10	ch-27	t= -9.56
ch-42	t= 4.74	ch-28	t= -9.25
ch-43	t= 44.52	ch-31	t= -24.84
ch-44	t= 49.26	ch-34	t= -6.40
ch-45	t= 46.93	ch-35	t= -16.33
		ch-38	t= -5.60

$p < 0.001$

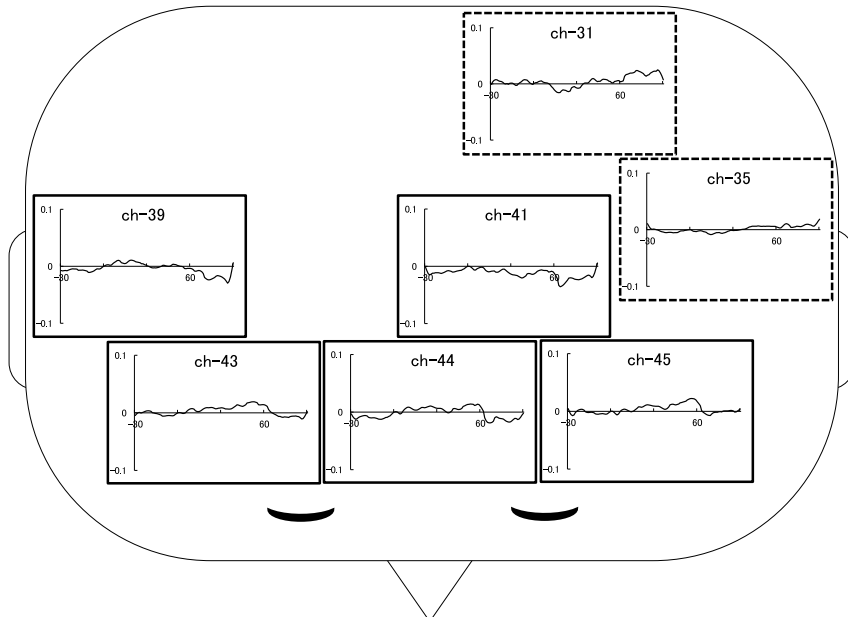


図3 顕著な差が示されたチャンネルにおける2人課題-反復課題のOxy-Hb量の時系列変化グラフ(n=4)

表4 2人課題-連続課題におけるt値(n=4)

チャンネル	t値	チャンネル	t値
ch-39	t= 4.285	ch- 1	t= -5.76
ch-43	t= 10.128	ch- 4	t= -7.31
ch-44	t= 4.8717	ch-10	t= -4.58
		ch-21	t= -4.62
		ch-24	t= -5.98
		ch-27	t= -4.83
		ch-28	t= -5.63
		ch-31	t= -6.26
		ch-35	t= -4.47
		ch-38	t= -5.72
		ch-42	t= -11.46

$p < 0.001$

(1)(2)の結果から、反復課題と2人課題では、チャンネル数にして11で有意な差が示されたものの、1人課題と反復課題、2人課題と反復課題に比べてそれぞれのt値は小さかった。2人課題と反復課題の比較では、2人課題のほうが前頭前野に位置するチャンネルにおいてOxy-Hb量の有意な増加が認められた。また、2人課題に比べて反復課題で、左背側前頭前野および右運動野にあたるチャンネルでのOxy-Hb量の有意な増加が認められた。

4. 考察

本研究では、NIRSを指標としてあやとりの形象を変化させていくパターンの違いにおける認知過程について検討することを目的とした。

まず、反復課題と連続課題の比較では、連続課題で左右前頭前野のOxy-Hb量が増加することが示された。前頭前野は領域ごとに担う役割が異なり、背外側は実行機能のコントロール、内側は意欲づけや自発性、眼窩面は刺激に対する反応抑制機能(注意の集中)を担っていると考えられている(酒井ら, 2006)。前頭前野の眼窩面から背外側の測定部位における賦活からは、形象を変化させる活動に対して注意集中が必要とされたこと、手指の多様な動作遂行のための正確なコントロールが必要であったことが推測された。

また、2人課題と反復課題との比較においても、2人課題で前頭前野の賦活が認められ、その傾向は右側でより強く示された。前頭前野の左右差については、能動的な短期記憶であるワーキングメモリに関連するとされている。そのうち特に視覚認知機能を受け持つ視覚的イメージの保持や処理を行なう視空間スケッチパッドは右半球の前頭前野・運動前野に、言語認知機能を受け持つ音韻ループは左半球に関わるとされている(斎藤, 2009)。2人課題における前頭前野の賦活は、糸の形象変化は視空間的な情報として認知され、短期記憶として保持される必要があることから、これは人とともに行なうかどうかに関わらず、糸の形象変化により視空間スケッチパッドへの負荷が高くなっていたことによると考えられる。しかし、前頭前野の賦活は右前頭部でより強くみられてはいたものの、全体的に賦活が認められたことから、手順を言語で覚える、形から言葉を連想するなど、ワーキングメモリのうちの言語情報の保持や処理を行なう音韻ループとも関連があったことも推測された。また、前頭前野はモチベーションや情動との関わりが深いとも言われている。施行者に対する作業の意味づけについての先行研究では、人工的な作業と結果の表示などを伴う意味のある作業の比較をし、意味のある作業で前頭前野の有意な血流の増加が認められている(澤田ら, 2009)。あやとりは抽象的な形からイメージを膨らませる遊びである。従って形象が変化することで、活動に対する意味づけを強める効果につながったのではないかと考えられる。逆に、反復課題では2人課題に比べて左背側前頭前野および右運動野でOxy-Hb量の有意な増加が認められた。これは手指の運動という視点で考えれば、2人が交互に行う2人課題に対し同じ動きを継続して行う反復課題では運動性は高かったためであったと思われる。にもかかわらず、反復課題よりも2人課題でより前頭前野の血流量の増加が認められたことは、上記のような短期記憶処理、情動等の負荷が高まった結果であると考えられる。

以上のことから、前頭部の血流の有意な増加は、糸の形象の変化に伴い動作遂行のためのコントロールを要するため注意の集中が求められること、視空間を記憶するための負荷がかかっ

ていること、施行者が活動に意味を見出しやすくなっていたことを示すと推察された。

5. まとめ

本研究では、あやとりの形象の変化と認知過程との関連について、NIRSを指標として検討を行った。その結果、以下の点が示唆された。

- 1) 視空間の短期記憶に関わる右側前頭前野が有意に賦活したことから、あやとりの形象を変化させることは、同じ形の反復よりも、視空間記憶への負荷がかかることが示された。
- 2) 動作遂行のコントロールに関わる前頭前野の血流が有意に増加したことから、あやとりの形象を変化させることは、同じ形の反復よりも手指の操作を行なうためのコントロールを要することが示された。
- 3) 活動に対する意欲に関わる前頭前野が有意に賦活したことから、あやとりの形象を変化させることは、同じ形の反復よりも活動に対する意味づけを強めることに影響を与えることが示された。
- 4) あやとりの形象を変化させる課題において、1人で行うパターンと2人で行うパターンは前頭前野、運動前野における血流量の変化量の差が小さかったことから、あやとりの形象の変化は行なう人数に関わらず、手指の操作を行なうためのコントロール、視空間記憶への負荷、活動に対する意味づけにおいて類似した影響を及ぼすことが示された。

引用文献

- シシドユキオ, 野口廣, マーク・A・シャーマン (2006) 世界あやとり紀行—精霊の遊戯—. 東京: INAX出版.
- 黒田恭史 (2003) 脳内の血液動態を指標とした立体図形の再現課題と創作課題の差異. 数学教育学会誌, 44(1), 83-91.
- 宮本玲子, 菊池吉見, 田中雅行, 渡邊修, 妹尾淳史 (2004) 積み木を用いた遅延見本あわせ課題遂行時の脳内活動—fMRIを用いた検討. 日本保健科学学会誌, 7(3), 200-207.
- 森川孝子, 篠原英記, 松尾善美, 中前智通, 山本大誠, 大瀧誠他 (2007) 近赤外分光法を用いた書字課題における脳血液動態の検討. 神戸学院総合リハビリテーション研究, 2(2), 23-30.
- 野田さとみ (2008) 手指の運動を伴うあそびにおける生理心理的变化について. 奈良女子大学大学院人間文化研究年報, 23, 165-174.
- 野田さとみ, 佐久間春夫 (2009) 手指の運動を伴う遊びにおける脳波および覚醒度・快感度の変化について. バイオフィードバック研究, 36(1), 41-46.
- 夏堀謹二郎 (1987) 日本の綾取. 東京: 有紀書房, pp.41-43.
- 酒井浩, 加藤寿宏 (2006) 注意制御課題実施時の前頭前野領域における血中ヘモグロビン濃度の変化—仮名ひろいテストを用いた検討—. 健康科学: 京都大学医学部保健学科紀要, 3, 7-15.
- 斎藤忠一, 安藤貴泰, 百瀬桂子 (2009) 機能的MRIを用いた視覚性ワーキングメモリー課題における脳活動の検討. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, 11(2), 87-91.
- 澤田辰徳, 建木健, 藤田さより, 松原麻子 (2009) 意味のある作業が前頭前野に及ぼす影響. 作業療法, 28, 367-375.

